

Évaluation subjective des défauts combinés de machines tournantes

A. MILOUDI^a, A. DEROUCHE^b, B. BOUZOUANE^c, N. HAMZAOU^d

a. Laboratoire de Mécanique Avancée, USTHB, Alger, amiloudi@usthb.dz

b. Laboratoire de Mécanique Avancée, USTHB, Alger, derouiche_abbassia@yahoo.fr

c. Laboratoire de Mécanique Avancée, USTHB, Alger, bbouzouane@yahoo.fr

d. Laboratoire de Vibrations Acoustique, INSA, Lyon, nacer.hamzaoui@lva.insa-lyon.fr

Résumé : (16 gras)

Le but de ce papier est d'étudier les défauts combinés des machines tournantes en utilisant la perception sonore. Ainsi nous avons retenu, pour cette étude, un balourd et un défaut de roulement sur la bague extérieure avec deux niveaux pour chaque défaut. Les signaux recueillis sur le banc d'essai expérimental ont été soumis à des tests subjectifs en utilisant une analyse comparative par paires (mesure de la dissemblance) afin de chercher une corrélation entre l'analyse perceptive et les indicateurs scalaires.

Abstract : (16 gras)

The purpose of this paper is to study the combined defects of rotating machines using sound perception. So we have retained for this study, an unbalance and a bearing fault on the outer ring with two levels for each defect. The signals collected on the experimental test bench were subjected to subjective tests using a comparative analysis in pairs (a measure of dissimilarity) in order to find a correlation between perceptual analysis and scalar indicators.

Perception sonore, dissemblance, défauts combinés, diagnostic

1 Introduction (16 gras)

Depuis quelques années, l'impact perceptif des sons émis par les structures, est de plus en plus couplé aux caractéristiques de celles-ci. Ainsi de nombreuses recherches visent à établir une relation, voir même une corrélation, entre le son perçu lors du fonctionnement des machines tournantes et les vibrations résultant. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude, qui vise à mieux connaître et caractériser perceptivement une source sonore provenant de tel ou tel défaut de machines tournantes.

2 Génération de stimuli

Sur un banc d'essai expérimental, est réalisé une série d'expériences durant lesquelles différents types de défauts sont simulés. Dans ce papier, il sera présenté les défauts de balourd et de roulements avec deux niveaux chacun, ainsi que leurs différentes combinaisons. (Voir table 1)

Une limite de 8 sons extraits des mesures vibratoires effectués par des accéléromètres et convertis sous format wav ont été retenus pour les tests perceptifs.

	Défaut				
	Balourd - A		Roulement - B		
Son	Modéré	Accentué	Modéré	Accentué	Combinaison
1	X				A1
2		X			A2
3			X		B1
4				X	B2
5	X		X		A1B1
6		X	X		A2B1
7	X			X	A1B2
8		X		X	A2B2

TABLE 1 – Série de stimuli présentés aux auditeurs

3 Évaluation subjective

3.1 Test de perception

Le test été effectué dans une salle d'écoute et les sons ont été restitué via une carte son Realtek à travers un casque d'écoute. Le jury d'auditeurs était constitué de 22 sujets, 8 femmes et 14 hommes, âgés de 23 à 42 ans. Les stimuli leur ont été présentés en utilisant la méthode de comparaison par paires [1]. A partir d'un ensemble de 8 sons, nous avons combiné 28 paires auxquelles nous avons rajouté 4 paires dans lesquels le stimuli sera comparé à lui même. Ainsi le nombre total de paires de stimulus présenté pour chaque auditeur était de 32. Le test consistait à donner un jugement de similarité exprimé par une réponse dichotomique allant de très semblables à très dissemblables. Les auditeurs étaient face à une interface graphique d'un ordinateur permettant la saisie de leurs réponses et l'écoute des stimuli d'une même paire autant de fois qu'ils le désiraient. Les jugements de similarité ont ensuite étaient traité par analyse factorielle des tableaux de dissemblance obtenus [2, 3], permettant ainsi l'appréciation des distances perçues entre les stimuli et la description des dimensions perceptives des sons étudiés.

3.2 Analyses et résultats

L'analyse multidimensionnelle (MDS) nous a permis d'avoir une représentation des sons dans un espace euclidien à deux dimensions [4, 5].

En projetant les positions des sons (S1 à S8) sur les deux axes de l'espace perceptifs on aura la figure ci dessous :

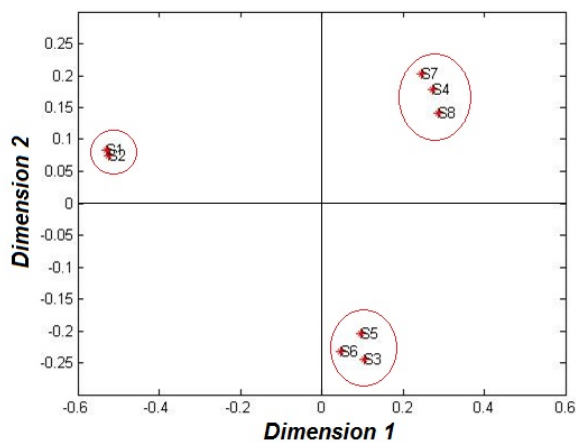


FIGURE 1 – Espace perceptif des sons

Son	DIM1	DIM2
S1	-0.529	0.083
S2	-0.525	0.074
S3	0.105	-0.244
S4	0.273	0.179
S5	0.097	-0.204
S6	0.046	-0.232
S7	0.245	0.203
S8	0.288	0.141

TABLE 2 – Coordonnées des sons dans l'espace perceptif

Le modèle est à deux dimensions, nous pouvons donc comparer directement les espaces perceptifs avec les résultats physiques et remarquer visuellement une bonne correspondance de chaque espace.

D'après les projections, la première dimension représente la gravité des défauts, l'ordre de cette projection est validé par les résultats de l'analyse vibratoire déjà effectuée. Nous remarquons, d'après les indicateurs scalaires et l'analyse spectrale, que le défaut de balourd très accentué est plus grave que le défaut de balourd modéré ce qui explique la projection du premier groupe.

3.3 Corrélations indicateurs scalaires-dimensions

Puisque ces dimensions décrivent parfaitement la dispersion des sons dans cet espace, et dans le but de mettre en relation les indicateurs vibratoires et la perception acoustique, nous avons cherché une corrélation entre cette dispersion et les indicateurs vibratoires scalaires calculés, en l'occurrence la valeur efficace de l'accélération, de la vitesse, le facteur crête, le crête à crête, le Kurtosis. Ainsi les dimensions de cet espace seront une fonction linéaire des différents indicateurs.

Pour ce faire nous avons effectué une régression linéaire ascendante, ayant pour entrée les indicateurs vibratoires. La dimension retenue sera celle qui présente le meilleur score de similarité, donc une meilleure qualité d'alignement des nuages de points sur la droite de régression.

Nous présentons dans les figures 2 et 3 les corrélations entre les deux dimensions et les indicateurs scalaires.

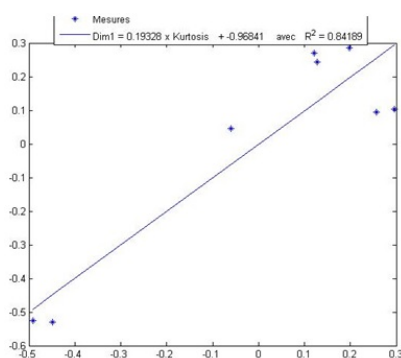


FIGURE 2 – Corrélation Dim1-Kurtosis

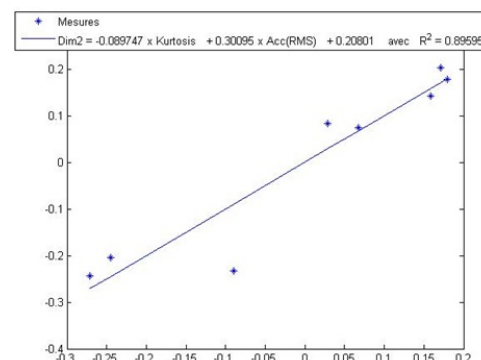


FIGURE 3 – Corrélation Dim2-(Kurt,Rms)

Le modèle de la dimension 1, donné dans l'équation 1 dépend du Kurtosis.

$$Dim1 = 0.193 \times Kurtosis - 0.968 \quad avec \quad R^2 = 0.84 \quad (p < 0.05) \quad (1)$$

Le modèle de la dimension 2, donné dans l'équation 2 dépend du Kurtosis et du Rms.

$$Dim2 = -0.090 \times Kurtosis + 0.301 \times Rms + 0.208 \quad avec \quad R^2 = 0.90 \quad (p < 0.05) \quad (2)$$

4 Conclusion

Les corrélations entre les aspects objectif et subjectif a permis de mettre en avant la relation importante qui existe entre d'une part les indicateurs scalaires, principalement, le Kurtosis et le Rms, et d'autre part les distances entre les sons relatifs aux défauts retenus dans l'espace de proximité. C'est le Kurtosis et le Rms qui expliquent le mieux les jugements de dissemblance pour les sons issus de la combinaison balourd-défauts de roulements. Les modèles de corrélations mathématiques obtenus peuvent être applicables aux sons ne faisant pas partie du test d'écoute et utilisé comme outil de suivi de la dégradation du roulement sans refaire les tests de perception.

Références

- [1] C. Parizet, Perception acoustique et qualité sonore, Techniques de l'ingénieur, Acoustique des salles et de l'environnement, réf. article : R6140 (2006).
- [2] G. Saporta, Probabilité, analyse des données et statistique, Technip, Paris, (1990).
- [3] E. Guilbert, Étude vibroacoustique et perceptive de bruit rayonné à l'intérieur d'une voiture de train à grande vitesse. Thèse, Université de Provence, Aix-Marseille I, 2008.
- [4] V. Roussarie, Analyse perceptive de structures vibrantes simulées par modèle physique. Thèse, Université du Maine, 1999.
- [5] M. Kanzari, Diagnostic vibro-acoustique des défauts d'engrenage : Analyse d'une démarche de perception sonore. Mémoire Master II, INSA de Lyon, 2009.